

ONGERUBRICEERD

**TNO-rapport**

**96-CMC-R1439**

**Technische verbeteringen aan het staartstuk van de DTI.**

**TNO Bouw**

Lange Kleiweg 5, Rijswijk  
Postbus 49  
2600 AA Delft

Telefoon 015 284 20 00  
Fax 015 284 39 90  
Telex 38270

Datum

11 november 1996

Auteur(s)

ir. J.M.J. Oostvogels

JMJ

**Opdrachtgever:**

Directie Materieel Koninklijke Landmacht  
Afdeling Techniek & Wetenschappelijk  
Onderzoek  
V.d. Burchlaan 31  
Postbus 90822  
2509 LV DEN HAAG

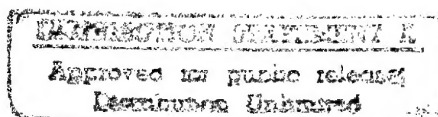
**Rubricering**

Vastgesteld door: J. de Blok  
Vastgesteld d.d.: 11 november 1996

Titel	: ONGERUBRICEERD
Managementuittreksel	: ONGERUBRICEERD
Rapporttekst	: ONGERUBRICEERD
Bijlagen	: ONGERUBRICEERD

Alle rechten voorbehouden.  
Niets uit deze uitgave mag worden  
vermenigvuldigd en/of openbaar  
gemaakt door middel van druk, foto-  
kopie, microfilm of op welke andere  
wijze dan ook, zonder voorafgaande  
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd  
uitgebracht, wordt voor de rechten en  
verplichtingen van opdrachtgever en  
opdrachtnemer verwezen naar de  
Algemene Voorwaarden voor onder-  
zoeksopdrachten aan TNO, dan wel  
de betreffende terzake tussen de  
partijen gesloten overeenkomst.  
Het ter inzage geven van het  
TNO-rapport aan direct belang-  
hebbenden is toegestaan.



Projectnr. : 62376603 - A96/KL/139  
Goedgekeurd : ir. G.T.M. Janssen

81

Pagina's : 31 (inclusief bijlagen,  
excl. RDP & distributielijst)  
Figuren : 7  
Bijlagen : A, B, C, D.

© TNO

DTIC QUALITY INSPECTED 3

ONGERUBRICEERD

TNO Bouw verricht onderzoek en geeft advies over  
bouwvraagstukken, voornamelijk in opdracht van onder meer  
de overheid, grote en kleine ondernemingen in de bouw,  
toeleveringsbedrijven en branche-instellingen.



Nederlandse Organisatie voor toegepast-  
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene  
Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO,  
zoals gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank en de  
Kamer van Koophandel te 's-Gravenhage.

19970130 021

Managementuittreksel.

Titel : Technische verbeteringen aan het staartstuk van de DTI.  
Auteur : ir. J.M.J. Oostvogels  
Datum : 11 november 1996  
Opdr. nr. : 62376603 A96/KL/139  
IWP nr : 792  
Rapportnr. : 96-CMC-R1439

Er doen zich enkele kleine problemen voor aan de achterzijde van de Dynamische TestInstallatie (DTI).

Regelmatig sneuvelen er bevestigingsboutjes van de geleidestribben ter plaatse van het achtergland. Ze worden opgerekt en ze breken ten slotte. Men kan daar voorlopig mee leven door de boutjes regelmatig te vervangen in afwachting van een definitieve oplossing.

Een ander probleem vormt het breken, na 5 à 6 schietseries, van de onderste twee bouten waarmee het koppelstuk-spencilinder op het middengland gemonteerd wordt.

Het doel van het onderzoek was een oplossing aan te dragen voor de bouten die breken.

In het rapport worden voor het eerste geval een paar eenvoudige verbeteringen voorgesteld.

Het tweede probleem blijkt het gevolg te zijn van een groter defect: bij ieder schot hamert het koppelstuk tegen de aandrijfcilinder. Dit zal op termijn gecompliceerde schade opleveren. De hier dringend voorgestelde oplossing houdt in dat er een stootveer wordt ontwikkeld en aangebracht volgens specificaties die in dit rapport worden aangereikt.

INHOUD.

Managementuittreksel.	2
1. INLEIDING.	4
2. DE BEVESTIGING VAN DE GELEIDESTRIPS.	5
<u>Bout en belasting.</u>	5
<u>Voorspankracht.</u>	5
<u>Belastingmechanisme.</u>	5
<u>Remedie.</u>	6
<u>Alternatieve of aanvullende remedie.</u>	6
<u>Slot.</u>	7
3. BEVESTIGINGSBOUTEN MIDDENGLAND-KOPPELSTUK.	8
<u>Intro.</u>	8
<u>Versnelling en vertraging.</u>	8
<u>Diagnose.</u>	8
<u>Calculatie van de ideale stootveer.</u>	9
<u>Slot.</u>	10
4. CONCLUSIES.	11
FIGUREN.	12
APPENDIX A, Fax van J.W. Zwaan (CMW) aan J. Oostvogels (TNO).	
APPENDIX B, Onderzoekingen door ing. P.M. van Waterschoot (TNO).	
APPENDIX C, De massa van onderdelen en verwijzing naar tekeningen.	
APPENDIX D, Normblad NEN 1241; Cilinderkopschroeven met binnenzeskant.	

## 1. INLEIDING.

Er doen zich enkele kleine problemen voor aan de achterzijde van de Dynamische TestInstallatie (DTI).

Regelmatig sneuvelen er bevestigingsboutjes van de geleidestrippen ter plaatse van het achtergland (zie Fig 1 en 2). Ze worden opgerekt en ze breken ten slotte. Men kan daar voorlopig mee leven door de boutjes regelmatig te vervangen in afwachting van een definitieve oplossing.

Een ander probleem wordt gevormd door het breken, na 5 à 6 schietseries, van de onderste twee bouten waarmee het koppelstuk-spencilinder op het middengland gemonteerd wordt (Fax 14-10-94 van J.W. Zwaan aan Oostvogels, TNO; zie Appendix A).

Het doel van het onderzoek was een oplossing aan te dragen voor de bouten die breken.

Reeds in september '94 is er een versnellingsmeting uitgevoerd als een eerste terreinverkenning. Deze verschaftte weinig nieuw inzicht en valt buiten het bestek van dit rapport.

Het is duidelijk dat het hier gaat om een dynamisch probleem. Een schok wordt veroorzaakt tijdens het schot, met een gecompliceerde beweging van het staartstuk als gevolg. Dit blijkt uit waarnemingen van ing. P. van Waterschoot (TNO), zie Appendix B. Het systeem van reactiekrachten en ondersteuningspunten (ophanging van de DTI in de kuip en ondersteuning door middel van stempels) doet het staartstuk bewegen.

De bevestigingsbouten van de geleidestrippen zijn verdeeld over de lengte. Meestal bezwijken de bouten ter plaatse van het achtergland. Het ligt voor de hand dat de klauw van het middengland, die onder de geleidestrippen grijpt deze lostrekt, bijvoorbeeld door schranken. Nader onderzoek, zie Appendix B, leerde echter dat niet het schranken, maar het omhoog hameren van het middengland de oorzaak vormt. Dit wordt toegelicht in Hoofdstuk 2.

Het tweede probleem, de brekende bouten tussen het middengland en het koppelstuk, werd in de loop van de probleembeschrijving aan deze opdracht toegevoegd. Het werd aangedragen door J.W. Zwaan (MCW) samen met een ander probleem dat de geleidemassa betreft, zie Appendix A. Er werd toen besloten het tweede door Zwaan aangedragen probleem, betreffende de geleidemassa, toe te voegen aan een projectomschrijving van de "Impulsoverdracht", terwijl het eerste, betreffende boutbreuk tussen middengland en koppelstuk, in het kader van dit rapport, in Hoofdstuk 3, wordt behandeld.

## 2. DE BEVESTIGING VAN DE GELEIDESTRIPS.

### Bout en belasting.

De twee geleidestrips zijn bevestigd op een zwaar gietstuk door middel van dertig stalen M8 \* 25 cilinderkopschroeven met binnenzeskant (DIN 912). Zie Fig 1. Bij deze korte schroeven loopt de draad door tot onder de kop, althans volgens NEN 1241, zie Appendix D. De kerndiameter is 6.376 mm,  $A = 32 \text{ mm}^2$ . De schroeven zijn bevestigd met een steek van 155 mm.

In dit geval van een stijve korte schroefdraadverbinding moeten de eerste draadgangen relatief veel kracht overdragen. De kerfwerking doet dan gemakkelijk de bout breken onder de kop. De cilindrische kop ligt verzonken in de geleidestrip; daaronder resteert in de geleidestrip een recht gat, 6 mm lang, zonder draad. Daaronder komt het gietstuk met een draadgat. Het is dus een redelijke aanname dat alleen over de eerste 10 mm ( $= L$ ) het boutje elastisch zal rekken. Dat is ongeveer anderhalf maal de dikte van de kerndiameter. De axiale stijfheid  $AE/L$  van de stalen bout bedraagt dan 670 kN/mm. Als de bout een kwaliteit 8.8 heeft dan ligt de rekgrens op ongeveer 630 N/mm<sup>2</sup> en de treksterkte rond 900 N/mm<sup>2</sup>. Dit betekent dat de boutjes in de praktijk moeten zijn belast met 20 à 30 kN om te kunnen rekken en breken. De bedoelde kracht is opgebouwd uit de voorspankracht  $F_{\text{voor}}$  en de dynamische belasting  $F_{\text{dyn}}$ .

### Voorspankracht.

De voorspankracht  $F_{\text{voor}}$  van de bevestigingsboutjes is niet bekend; een voorschrift daarvan is niet op de tekeningen gevonden. Deze zal in het geval van de DTI minder zijn dan de waarde die in de literatuur voor een M8 bout, kwaliteit 8.8, als maximaal toelaatbaar wordt opgegeven:

van 16.5 kN (bij wrijvingscoëfficiënt 0.10 en aanhaalmoment 20 Nm)

tot 17.9 kN (bij wrijvingscoëfficiënt 0.14 en aanhaalmoment 25 Nm).

Wij nemen aan dat  $F_{\text{voor}}$  in ons geval 10 kN bedraagt.

### Belastingmechanisme.

Uiteraard kunnen de boutjes alleen breken indien zij op trek worden belast. Dit houdt in dat de geleidestribben dynamisch naar boven worden getrokken. Het enige onderdeel dat daarvan de oorzaak kan zijn is het middengland. Dit middengland, zie Fig 4, grijpt namelijk aan weerskanten met een soort vinger onder de geleidestrip. Daarbij kan de geleidestrip enigszins kantelen, waardoor de verticale verplaatsing van het middengland groter is dan de verlenging van de bout zelf. De dwarsdoorsnede van de geleidestrip kan dus werken als een hefboom, waardoor de botskracht (die wordt uitgewisseld tussen het middengland en de geleidestripbevestiging) wordt vergroot. Als wij gemakshalve dit effect niet meerekenen (hefboomverhouding is 1:1), evenals het feit dat het middengland eigenlijk twee geleidestribben tegelijk onder vuur neemt, dan kunnen wij blijkbaar het breken van een bevestigingsboutje verklaren uit het optreden van een dynamische (bots)kracht  $F_{\text{dyn}}$  van zo'n 15 kN in een boutverbinding met een stijfheid  $k_{\text{bout}} = 670 \text{ kN/mm}$ . De botsende massa  $m$  bedraagt ongeveer 150 kg, dit is de massa van het middengland, het koppelstuk en een deel van de zuigerstang (plunjer); zie Appendix C.

De voorgespannen bout is omgeven met materiaal (gietijzer en aluminiumbrons) dat deze voorspanning elastisch opneemt. De stijfheid  $k_{\text{totaal}}$  van de algehele boutverbinding is daardoor misschien 2 à 3 maal zo hoog als die van de bout alleen. Stel:  $k_{\text{totaal}} = 2000 \text{ kN/mm}$ .

Het is een redelijke aanname te zeggen dat de botsing verloopt volgens het profiel van een halve sinus. De hoeksnelheid  $\omega$  daarvan bedraagt:

$$\omega = \sqrt{k/m} = 3650 \text{ rad/s (580 Hz; contacttijd } \frac{1}{2}T = 0.9 \text{ ms).}$$

De grootheden die de beweging bepalen zijn dan:

Verplaatsing $x$	= 7.5 $\mu\text{m}$	( = $F_{\text{dyn}}/k_{\text{totaal}}$ )
Snelheid $x\omega$	= 0.03 m/s	
Versnelling $x\omega^2$	= 100 m/s <sup>2</sup> .	

De grootheid die waarschijnlijk als een vast gegeven door het middengland wordt aangeboden is de snelheid. Samen met de massa staat die voor kinetische energie: er wordt geslagen met een hamer van 150 kg en met een snelheid van 0.03 m/s.

#### Remedie.

Als wij het beeld van een hamer als een uitgangspunt fixeren, dan volgt uit het bovenstaande dat de toepassing van bijvoorbeeld een negen maal slappere (negen maal zo lange) bout (zie voor verkrijgbare lengtes NEN 1241, Appendix D) een drie maal zo grote uitvering van de boutverbinding tot gevolg zal hebben, evenals een drie maal geringere versnelling. De dynamische boutkracht zal dan nog slechts een derde bedragen van de huidige waarde. De resulterende waarden van  $F_{\text{piek}} = 5 \text{ kN}$  en de uitwijking  $x = 0.022 \text{ mm}$  lijken geschikt bij  $k_{\text{bout}} = 75 \text{ kN/mm}$ .

De voorgestelde oplossing is goed uitvoerbaar met bouten in de range M8 \* 80 tot M8 \* 100. Het gietstuk biedt onder de geleidestrip circa 100 mm materiaal. Daarin kan een smal doorlopend gat worden geboord, waarvan het onderste deel later een M8 draad zal krijgen. Het bovenste deel wordt opgeboord, zodat de bout in dat gedeelte vrij kan rekken.

Het rekken van de bout (0.02 mm) zal optreden wanneer ter plaatse van de bout het middengland naar boven hamert. Gebeurt dit tussen twee bouten in, dan zal de geleidestrip elastisch uitwijken. De stijfheid van een stuk geleidestrip, 155 mm lang, kan worden berekend door de buigstrip als tweezijdig ingeklemde buigbalk op te vatten. De elastische buiging van de strip (aluminiumbrons,  $EI = 3554 \text{ Nm}^2$ ) tussen twee bouten is 0.08 mm (want stijfheid  $k_{\text{strip}} = 183 \text{ kN/mm}$ ). De voorgestelde ingreep in de boutbevestiging leidt dus ter plaatse van de bouten tot een elastische verlenging die zelfs nog geringer is dan de uitbuiging van de geleidestrip tussen twee bouten in. Dat lijkt een redelijk uitgangspunt. Daar komt bij dat de voorgestelde modificatie goed uitvoerbaar is.

#### Alternatieve of aanvullende remedie.

De analyse zoals die hier is gepresenteerd berust op een aantal onzekere aannamen:

- De hefboomverhouding van de dwarsdoorsnede van de geleidestrip is 1:1.
- $F_{\text{voor}} = 10 \text{ kN}$ .
- De elastische rek treedt op in de eerste 10 mm van de bout.
- De onzekere verdeling van de stootenergie over twee geleidestrips.

Hierdoor kan de analyse niet heel accuraat zijn. Na het uitvoeren van de voorgestelde oplossing moet in de praktijk worden vastgesteld of die afdoende is of niet. In het laatste geval is een aanvullende wijziging mogelijk: Het middengland heeft twee "vingers" die onder de geleidestrip grijpen. Door het middengland in te frezen over een lengte L, ongeveer volgens Fig 4

(inzet), ontstaan nieuwe vingers, die langer zijn dan de oude. Zo'n stalen vinger heeft een doorsnede van  $75 * 19.5$  mm en kan worden opgevat als een ééNZijdig ingeklemde buigbalk. De veerstijfheid daarvan bedraagt  $k = 3EI/L^3$ .  
Bijvoorbeeld:

L =	k =
60 mm	135 kN/mm
70 mm	85 kN/mm
80 mm	57 kN/mm
90 mm	40 kN/mm
100 mm	29 kN/mm

Tesamen met de reeds eerder aan de boutbevestiging van de geleidestrips uitgevoerde verbetering, waarvan de stijfheid van 670 kN/mm naar 75 kN/mm werd gebracht, moet het zeker mogelijk zijn de huidige problemen te overwinnen.

#### Slot.

Het is raadzaam dat de MCW voorlopig uitsluitend de boutbevestiging van de geleidestrips verandert. De tweede modificatie (die aan het middengland) is dan waarschijnlijk niet eens meer nodig.

### 3. BEVESTIGINGSBOUTEN MIDDENGLAND-KOPPELSTUK.

#### Intro.

In het projectvoorstel is opgenomen het oplossen van een tweede probleem dat voor het eerst werd vermeld in Ref [1] (fax J.W. Zwaan, zie Appendix A): het rekken en breken van de twee onderste bouten die het middengland met het koppelstuk verbinden. Zie Fig 2 en 3 voor een samenstelling van het middengland, het koppelstuk en de plunjer.

Nadere calculatie van de afmetingen van het middengland leert ons twee dingen:

1. Het gewicht bedraagt 55 kg (de tekening vermeldt 60 kg).
2. Het zwaartepunt ligt 84 mm onder het hart.

Van de zes bouten breken dus alleen die welke vrijwel samenvallen met het zwaartepunt van het middengland.

Om een bout M16, kwaliteit 12.9, op te rekken en te breken is een kracht nodig van ongeveer 150 kN. Als een versnelling van het (zwaartepunt van het) middengland de twee bouten belast (in plaats van alle zes gelijkmatig), dan kan de benodigde kracht van ruim 300 kN alleen worden verklaard uit een zeer hoge versnelling ter grootte van  $300(\text{kN})/55(\text{kg}) = 5450 \text{ m/s}^2$  ( $= 555 \text{ g}$ ). Die versnelling moet bovendien zodanig zijn gericht dat de bouten op trek worden belast. Dit laatste vindt plaats bij de remmende actie van de combinatie voorgland-plunjer-middengland.

#### Versnelling en vertraging.

In het verleden is door TNO een mathematisch model van het aandrijfsysteem uitgewerkt dat de gasdruk en de beweging beschrijft. De uitgevoerde simulaties werden vergeleken met de gemeten versnellingen van het voorgland. Bij de simulatie is uitgegaan van een voorvuldruk in de aandrijfcilinder van 8 MPa en een opspanlengte van 120 cm.

Fig 5 toont de gesimuleerde ontwikkeling van de druk. Fig 6 beschrijft de verplaatsing en de snelheid. Fig 7 toont de bijbehorende versnellingen, gesimuleerd en gemeten (in januari 1988). In het begin is er aandrijving, vervolgens de rem-actie. De versnelling bedraagt 500 à 1000  $\text{m/s}^2$ . De maximale vertraging 300 à 600  $\text{m/s}^2$ . Om de bouten te laten breken is een tien maal zo grote vertraging nodig.

#### Diagnose.

Alarmerend was voor TNO een toevallige opmerking van de heer Pater (CMW) aan J. van Vugt (TNO), september 1996, dat het cilindrische rubber stootblok (Tek. DMKL 996, blad 26) kapot was en vervangen moest worden. Nader onderzoek van de metingen uit 1988 en de oude simulaties leerde dat de 8" remcilinders de DTI niet afremmen tot nul, maar dat een snelheid resteert. Bij nader inzien is dat ook wel begrijpelijk als men weet dat de twee remcilinders afkomstig zijn van het M110 houwitsers. Zij zijn weliswaar aangepast aan de DTI, maar er is waarschijnlijk niet op gerekend dat op het einde van de remslag nog een aandrukkracht (van de aandrijfcilinder) resteert van bijvoorbeeld 362 kN (afhankelijk van de voorvuldruk, in dit geval bijvoorbeeld 8 MPa). Op de houwitsers komt deze restkracht niet voor.

Het rubberen stootblok bij het middengland kan de resterende kinetische energie  $\frac{1}{2}Mv^2$  niet geheel opnemen. Het blok heeft slechts een slag van 10 mm, waarna het geheel door bottoming tot stilstand komt: de stalen rand van het koppelstuk botst dan tegen de achterwand van de aandrijfcilinder. Dit levert een harde hamerslag op die gemakkelijk de bedoelde bouten zal hebben doen breken. Het spreekt vanzelf dat ook de schroefdraad van de zuigerstang (van de plunjer) en de pocket met afdichtingen achter in de aandrijfcilinder schade kunnen hebben opgelopen. Een inspectie van ing. P. van Waterschoot (TNO) op 17



september 1996 bevestigde het laatste. Opnieuw kijkend naar Fig 6 ziet men bijna 200 ms na de start een snelheidssprong van 1,4 m/s en in Fig 7 de bijbehorende abrupte vertraging van de totale bewegende massa (simulatie) of van het voorgland (meting 1988).

Tot zoverre de oude gegevens. Aangezien voor het testen van de M109 een voorvuldruk van 12 MPa een meer representatieve waarde is moeten wij er van uitgaan dat een restkracht van zelfs 543 kN wordt uitgeoefend op de remcilinders. Rekening houdend met de kwadratische kracht-snelheidsrelatie van de rem moet bijgevolg zelfs een botssnelheid van 1,7 m/s worden verwacht. Aangezien het rubberen stootblok te kort schiet moet er een andere stootveer voor in de plaats komen.

#### Calculatie van de ideale stootveer.

De evenwichtsstand van de stootveer volgt uit:

$$\begin{aligned} F_{\text{plunjer}} &= F_{\text{veer}} \\ 543 \text{ kN} &= k \cdot x_r \end{aligned}$$

met

$$\begin{aligned} k &= \text{veerstijfheid stootveer (N/m)}. \\ x_r &= \text{veerindrukking in rust (m)}. \end{aligned}$$

Het stootblok moet bovendien een elastische energie opnemen die gelijk is aan de kinetische energie.

$$\begin{aligned} E_{\text{veer}} &= E_{\text{kin}} \\ \frac{1}{2} k (x_a)^2 &= \frac{1}{2} M v^2 \end{aligned}$$

met

$$\begin{aligned} M &= \text{bewegende massa: 1400 (kg), zie Appendix C.} \\ v &= \text{botssnelheid 1,7 (m/s).} \\ x_a &= \text{extra remweg of veeramplitude (m).} \end{aligned}$$

Het calculeren van een goede stootveer is geen eenvoudige zaak. De bewegende massa wordt namelijk afgeremd door twee elementen: de remcilinders en de stootveer. De vertragingsskracht die daardoor wordt uitgeoefend wordt bepaald door de momentane snelheid (remcilinders) en door de verplaatsing (stootveer). Die snelheid en verplaatsing worden zelf weer veranderd door de opgeroepen vertraging. Het gedrag van de bewegende massa wordt beschreven door een differentiaalvergelijking. Bij TNO werd een spread sheet programma geschreven waarin de beweging numeriek werd uitgewerkt met wisselende invoergegevens voor wat betreft de stootveer. De uitkomst daarvan is een set specificaties van de benodigde stootveer die het rubberen stootblok dient te vervangen. Aan de hand van die specificaties blijkt ook de ontoereikendheid van het rubberen stootblok.

	Nieuwe Stootveer		Rubber stootblok	
Veerstijfheid k	100	kN/mm	1.2	kN/mm
Indrukking $x_{\text{max}}$	8	mm	10	mm
Kracht $F_{\text{max}}$	800	kN	12	kN
Veerenergie	3	kNm	0.06	kNm

Gevolgen voor de DTI:

Vertraging	280	m/s <sup>2</sup>	Bottoming staal op staal
Frequentie	43	Hz	
Slagverkorting	2.2	mm	

De gespecificeerde nieuwe stootveer veroorzaakt een remvertraging van 280 m/s<sup>2</sup>, dat is minder dan in de simulaties en veel minder dan bij de harde

botsing optreedt. De bouten van het koppelstuk zullen dan ook zeker nooit meer vervangen hoeven te worden; evenmin de zuigerstangafdichting van de aandrijfcilinder.

De eigenfrequentie van de stootveer in samenwerking met de bewegende massa is 43 Hz. Dit is lager dan de gemeten eigenfrequentie van buigtrillingen in het voorgland (128 Hz, zie Fig 7, meetdata), zodat deze trillingen niet zullen worden aangeslagen.

In rust zal de gespannen stootveer evenwicht maken met een andere gespannen veer: de aandrijfcilinder. Tijdens de eindstop moet deze evenwichtspositie gepasseerd kunnen worden in verband met "overshoot". Daarvoor moet een deel van de slag worden gereserveerd. Er wordt zo een klein deel van de beschikbare slaglengte afgenomen: 2 à 3 mm. Dit is aanvaardbaar.

Slot.

Wij eindigen deze beschouwing met het dringende advies aan de MCW een stootveer volgens deze aanwijzingen te laten uitwerken.

#### 4. CONCLUSIES.

Twee problemen met betrekking tot boutbreuk in het staartstuk van de DTI zijn onderzocht. Het bleek dat deze twee zaken niets met elkaar te maken hebben.

Het breken van de bevestigingsboutjes M8 \* 25 van de geleidestrippen kan worden toegeschreven aan het naar boven hameren van het middengland tijdens het schot. De eerste maatregel die wordt aanbevolen is het toepassen van langere (elastische) bouten in daaraan aangepaste gaten.

Pas als dit onvoldoende mocht blijken wordt de tweede maatregel voorgesteld: het modificeren van het middengland in die zin dat de twee contactvingers verend worden uitgevoerd.

Het breken van de boutverbinding M16 \* 45 tussen het middengland en het koppelstuk blijkt terug te voeren op een veel ernstiger feit: het botsen van metaal op metaal tussen het koppelstuk en de aandrijfcilinder. Deze botsing schaadt niet alleen de bedoelde bouten, maar ook het systeem van afdichtingen bij de zuigerstangdoorvoer van de aandrijfcilinder. Bovendien wordt de schroefdraad op de zuigerstang zelf (in verbinding met het koppelstuk) bedreigd.

Een specificatie van een nieuw te ontwerpen en te construeren stootveer is in dit rapport gepresenteerd.

Het heeft een dringend belang dat deze modificatie ter hand wordt genomen.

***FIGUREN***

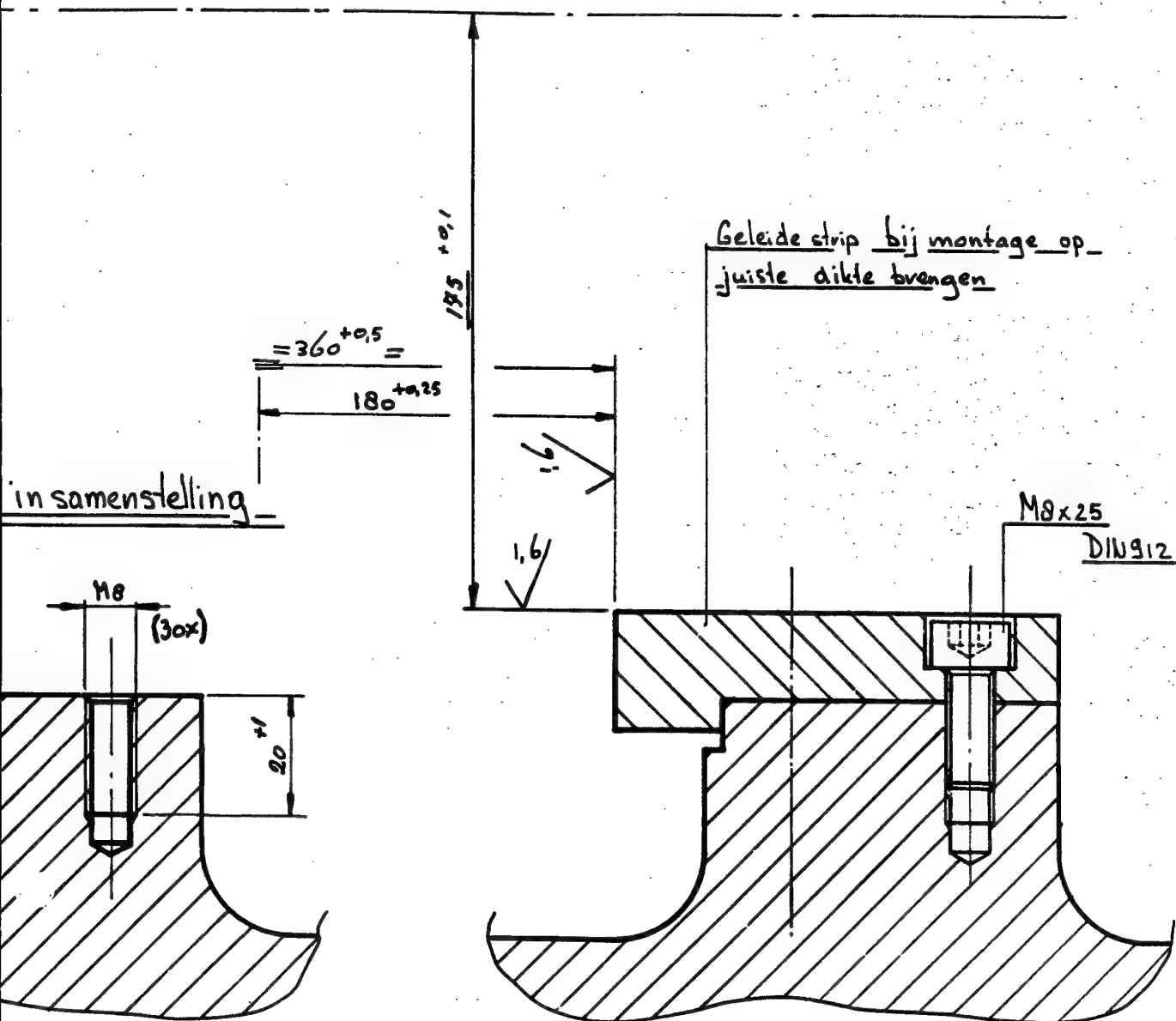


Fig 1. De bevestiging van een geleidestrip.  
DMKL tekening 996, blad 19, Achterframe.

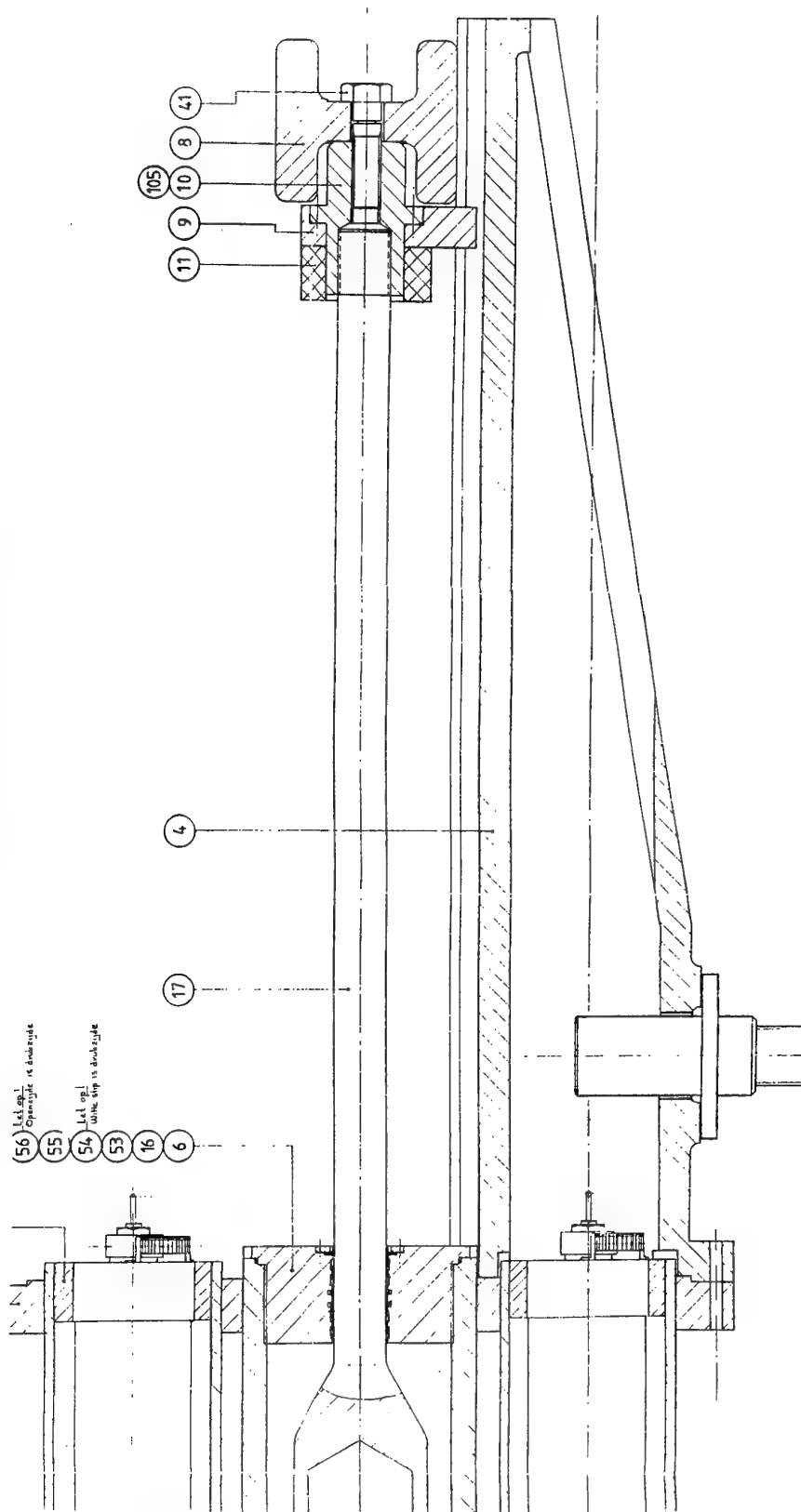


Fig 2. Samenstelling achterframe DTI; zij aanzicht.  
DMKL tekening 996, blad 15-2

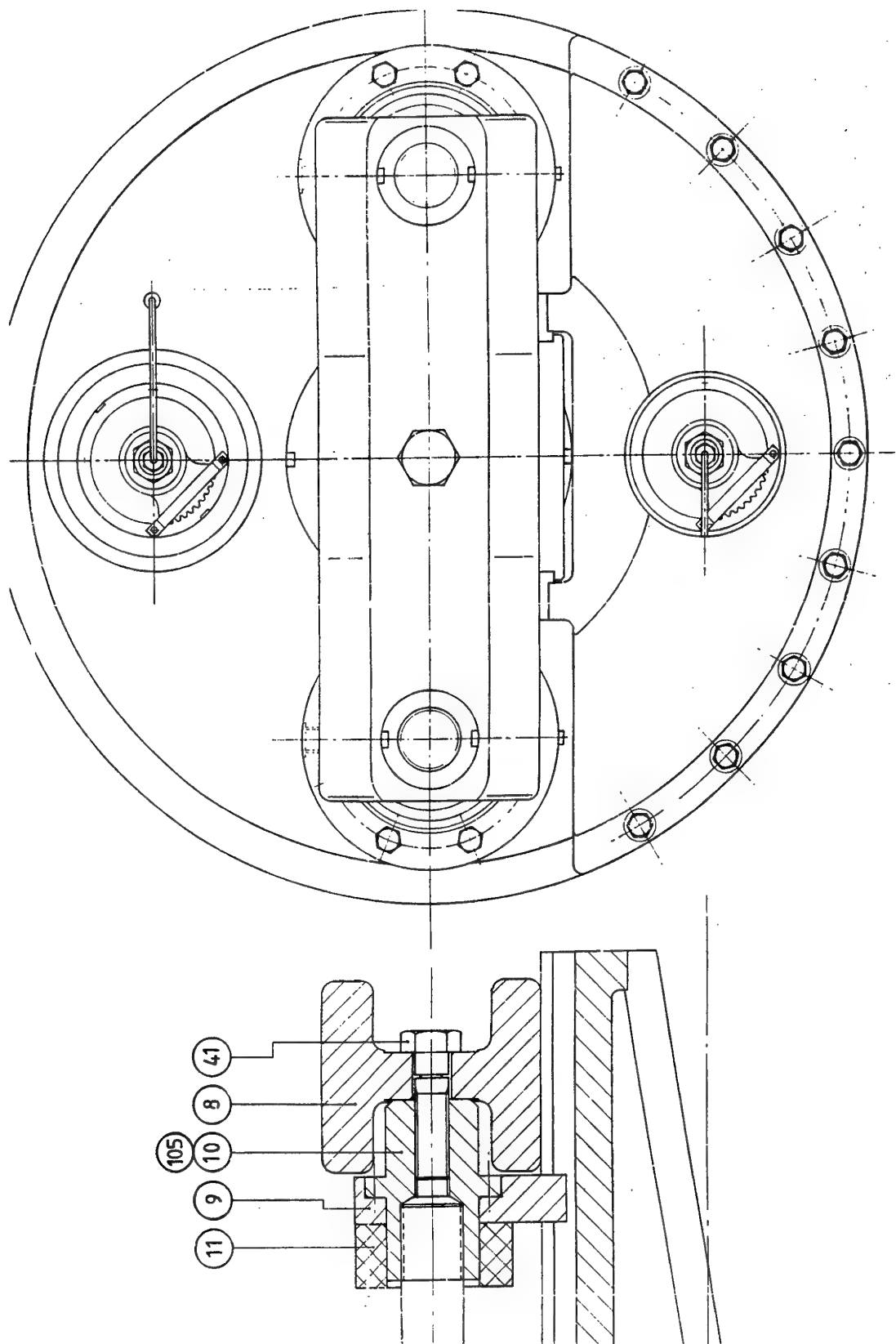
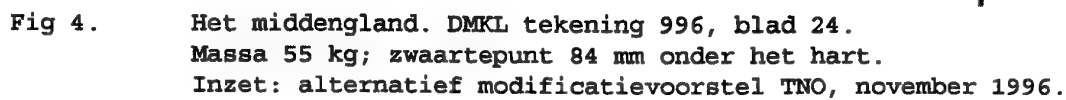


Fig 3. Samenstelling achterframe DTI; achteraanzicht.  
DMKL tekening 996, blad 15-2





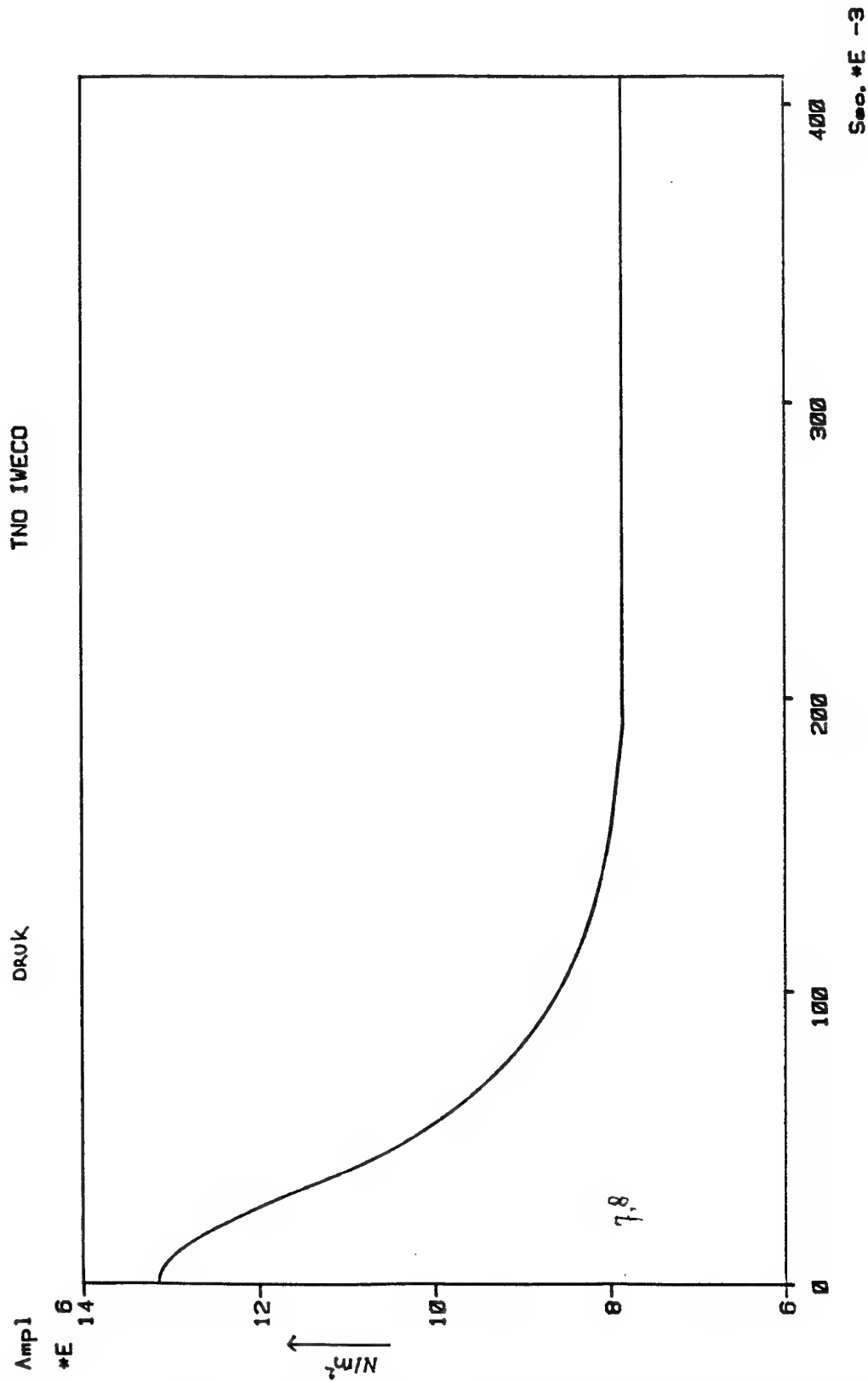


Fig 5. Simulatie van het verloop van de gasdruk in de aandrijfcilinder.  
Voorvuldruk (bijna) 8 MPa.

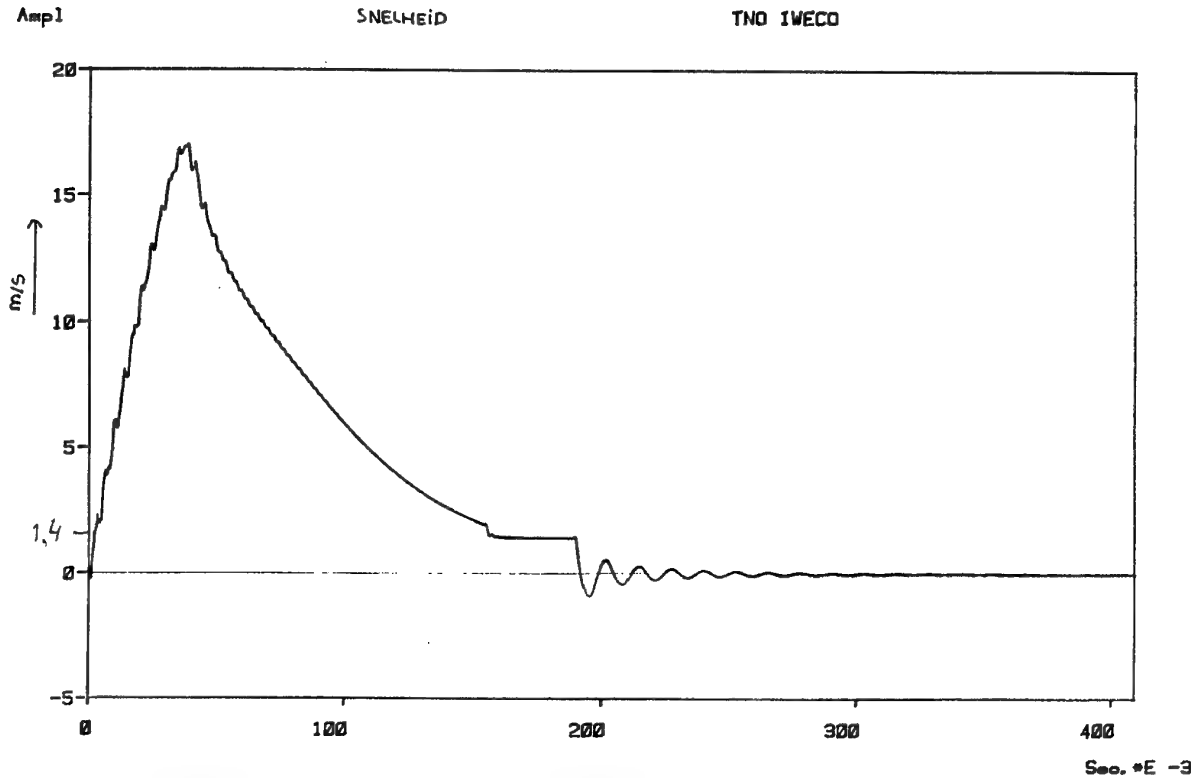
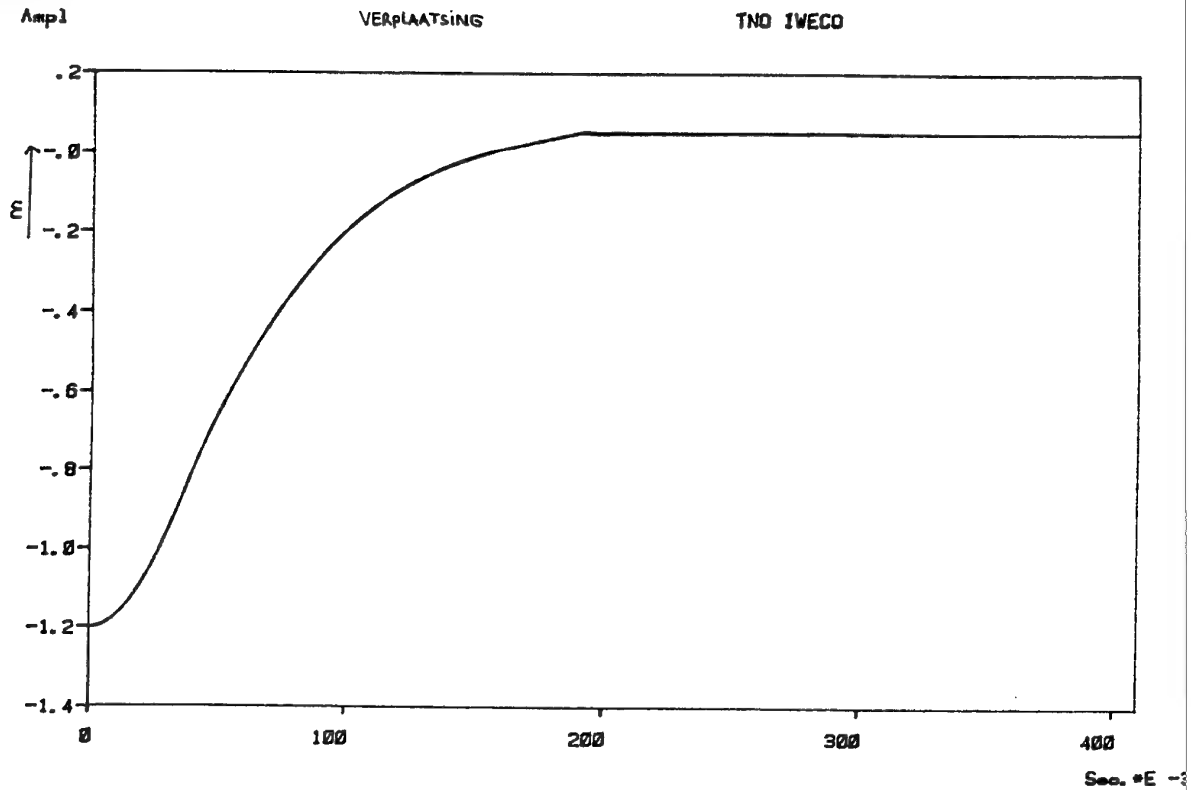


Fig 6. Gesimuleerde verplaatsing en snelheid.  
Uitgangspunt: 1,2 meter opspanlengte.  
Bijzonderheid: snelheidssprong van 1,4 m/s<sup>2</sup> na 200 ms.

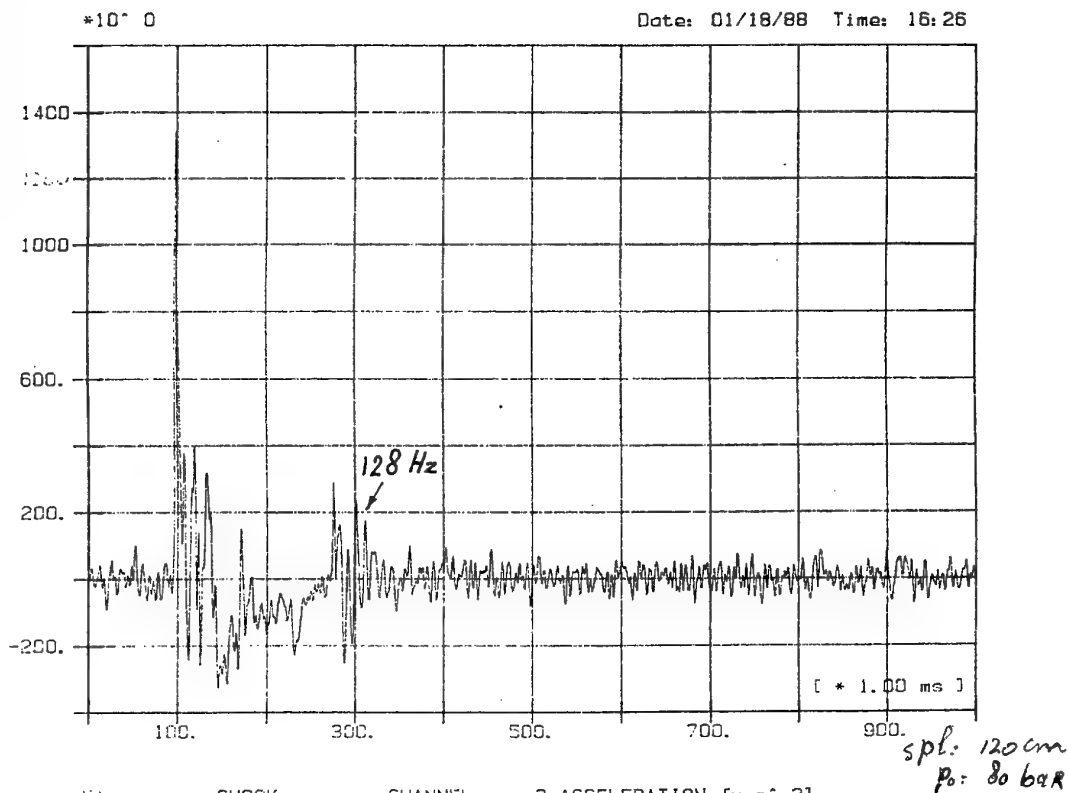
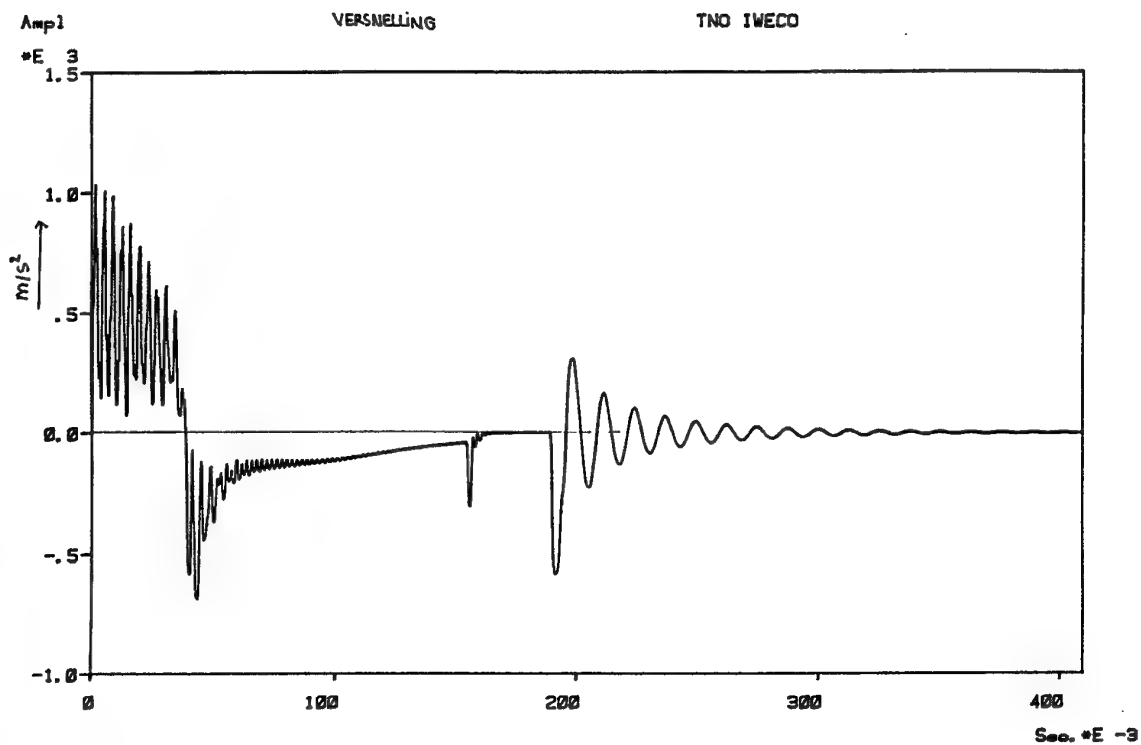


Figure SHOCK nr: CHANNEL nr: 2 ACCELERATION [m.s<sup>-2</sup>]  
Voorsland

Fig 7. Versnelling, gesimuleerd (boven) en gemeten (onder). Er treedt een stoot op, ongeveer 200 ms na het breken van de breekbout.

***APPENDIX A,***

***Fax van J.W. Zwaan (CMW) aan J. Oostvogels (TNO).***

A.2



---

## Koninklijke landmacht

**Bezoekadres:**

Kazerne : Defensiecomplex Kol. van Royenweg  
Straat : Kolonel van Royenweg 3  
Postcode/plaats : 3832 RN Leusden  
Faxnummer : \*06-500-8747 of 033-608747

**Postadres:**

MPC : 10 G  
Postbus : 3004  
Postcode/plaats : 3800 DA Amersfoort

Aan : TNO BOUW  
T.a.v. : H.R. J. OOSTVOGELS  
Faxnr. : 015 564102

Betreft: DTI

Van : J.W. ZWAAN  
Naam : 790 TWPL  
I. :

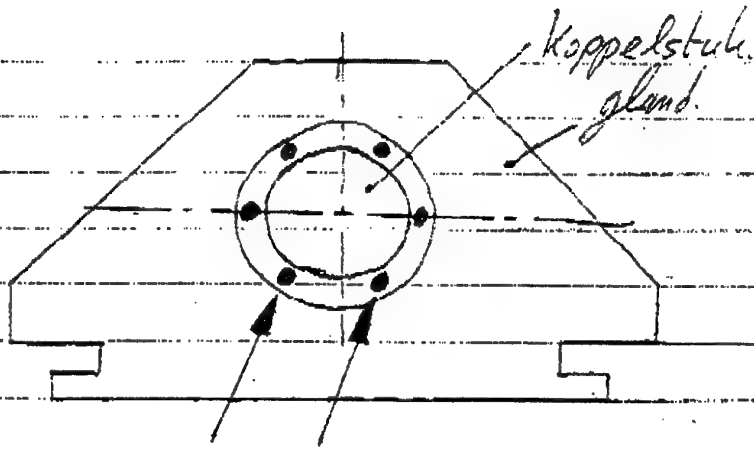
Referte:

Datum : 14-10-94  
Ons briefnummer:

Aantal blz. 3 incl. voorblad

---

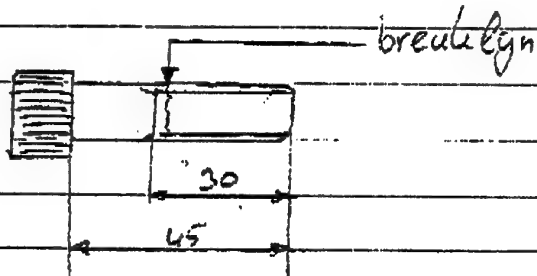
Opmerkingen



De bouten waarmee het koppelstuk-spansij kinder op de (midden) gland gemonteerd wordt, blijken in de praktijk na 5 à 6 schiet-series te breken.

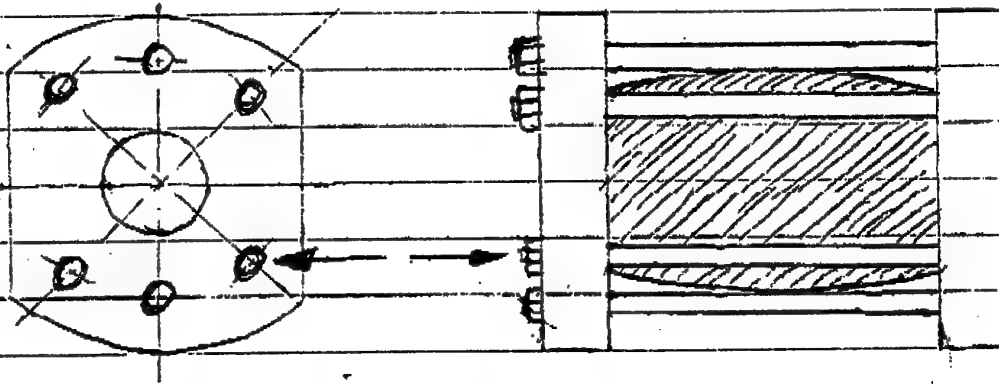
Het betreft ook hier vrijwel altijd dezelfde bouten die breken, namelijk rechts onder en links onder. (zie pijl)

Het koppelstuk is gemonteerd met 6 inbusbouten M16 en de draad lengte van de bout is 30 mm staal 12.9



A.4

## Trekstang geleide massa:



Het komt regelmatig voor dat één van de trekstangen van de geleide massa los ligt.

De trekstangen houden de twee zijplaten plus buffer bij elkaar. In totaal zijn 6 trekstangen gemonteerd.

Het is vrijwel altijd de trekstang rechtsonder (zie pijl) welke los ligt.

De trekstang wordt geborgd door een moer ( $M24 \times 3$ ) met kunststof borging.

Na elke schot wordt de moer nagetrokken, echter, na een serie van 7 schoten is de draad op de trekstang dusdenig beschadigd dat deze vervangen dient te worden.

***APPENDIX B,***  
***Onderzoeken door ing. P.M. van Waterschoot (TNO).***



## 1 - Uitlijning staartstuk:

In het staartstuk bevinden zich vier rechtgeleidingen.

- De gasveer
- De middenglandconstructie samen met de geleidestrips
- De twee gekoppelde opspancilinders

Deze vier rechtgeleidingen worden deels gekoppeld bewogen. De componenten waaruit de DTI is samengesteld bevatten fabricagetoleranties. Aangezien dit een statisch overbepaalde constructie is kunnen deze maatonnauwkeurigheden leiden tot verhoogde slijtage in de rechtgeleiding, of zelfs tot breuk van de bouten in de leibaan.

Daarom is de uitlijning van deze rechtgeleidingen gecontroleerd.

Er zijn verschillende controles uitgevoerd:

Een controle is uitgevoerd door het meten van de speling tussen de middengland en de geleidestrips. Voor deze meting is vanwege de veiligheid de gasdruk uit de gasveer verlaagd. Vervolgens is bij de twee uiteinden en in de middenstand van de bewegingsslag de speling gemeten. Er is gemeten boven en onder de linker en rechter strip. De waarden zijn:

slaglengte	1,4m	0,7m	0,2m
linksonder	0,0mm	0,1mm	0,1mm
linksboven	0,4mm	0,4mm	0,3mm
♥ - - - - -	- - - - -	- - - - -	- - - - - »
rechtsboven	0,4mm	0,4mm	0,3mm
rechtsonder	0,4mm	0,4mm	0,4mm

Geconcludeerd kan worden dat de speling links en rechts verschilt. Er is bovendien vastgesteld dat aan de buitenzijde van de beide strips, tussen de middengland en de strips in alle gevallen een positieve speling aanwezig is.

In een tweede meting is het vlak gecontroleerd waarin de twee cilinderassen van de opspancilinders en de as van de aandrijfcilinder zich bevinden (de parallelliteit). In uitgeschoven positie van alle cilinders is met behulp van een rij en een schuifmaat gemeten dat de onnauwkeurigheid minder is dan de meetnauwkeurigheid van een schuifmaat ( $\leq 0,05\text{mm}$ ).

Uit deze twee controles kan worden geconcludeerd dat het staartstuk in ongespannen toestand goed is uitgelijnd.

## 2 - Dynamische belasting

Tijdens de beproeving van een schietbuis is het gedrag van het staartstuk bestudeerd. Tijdens de opspanslag van de DTI schuift het achtergland als eerste over de twee glijstrips. Het van te voren aangebrachte zwarte vet wordt met deze gland van de strips geveegd. Het middengland, dat met behulp van de breekbout aan het achtergland is bevestigd, schuift als tweede over de baan. Duidelijk blijkt dat het middengland tijdens deze opspanslag de bovenzijde van de strips niet raakt.

Nadat het schot is afgegaan is het bovenvlak wederom bestudeerd. Nu zijn er vetsporen verschenen op regelmatige afstanden. De conclusie die hieruit getrokken kan worden is dat het middengland tijdens het schot met een verticale amplitude trilt ten opzichte van de leibaan.

Het bed waarop de baan is gemonteerd, trilt ook. Dit is aangetoond met een losse bout, die op het bed is geplaatst. Tijdens het schot maakt deze bout een buiteling. Deze twee trillingen doen vermoeden dat tijdens het schot de speling tussen het middengland en de baan wordt doorlopen. Het is zeer waarschijnlijk dat de middengland hamert tegen de boven- en onderzijde van de leibanen.

### 3 - Achterblijven van het middengland

Ten opzichte van de hartlijn van de aandrijfcilinder heeft het middengland een excentrisch zwaartepunt. Bij de versnelling die ontstaat als de opspanbout breekt, zal er daardoor een koppelbelasting op de plunjerstang komen. Dit koppel zal resulteren in een hoekverdraaiing van het middengland tijdens zijn versnelling.

Het zwaartepunt van het middengland werd bepaald op 84 mm onder het hart. De massa bedraagt 55 kg.

Bij 500 m/s<sup>2</sup> (zie simulatie, Fig 7) bedraagt de versnellingskracht F:

$$F = m \cdot a = 55 \times 500 = 27.5 \text{ [kN]}$$

De kracht levert bij die zwaartepuntligging een koppel M op:

$$M = F \times 0,084 = 2310 \text{ [Nm]}$$

Dit moment leidt tot de scheefstelling van het blok  $\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ :

Bij stanglengte plunjer  $l = 1,4 \text{ m}$  en  $EI = 1.04 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2$

$$\varphi_1 = \frac{M \cdot l}{E \cdot I}$$

$$\varphi_1 = 0,0031 \text{ rad} = 0,18^\circ$$

Deze scheefstelling roept een dwarskracht op die nodig is om het middengland neer te houden:

$$f_{\text{koppel}} = \frac{M \cdot l^2}{2 \cdot E \cdot I} = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I} = f_{\text{dwarskracht}}$$

$$F \text{ dwarskracht} = 3M/2l = 3 \times 2310 / (2 \times 1,4) = 2475 \text{ N}$$

De dwarskracht leidt tot een hoekcorrectie  $\varphi_2$ :

$$\varphi_2 = \frac{F \cdot l^2}{2 \cdot E \cdot I}$$

$$\varphi_2 = 0,0023 \text{ rad} = 0,13^\circ$$

De totale scheefstelling van het middengland wordt:

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = 0,18 - 0,13 = 0,05^\circ$$

Deze scheefstelling is te verwaarlozen.

Het is echter duidelijk dat de dwarskracht  $F$  aanvankelijk niet aanwezig is.

Pas na het doorlopen van de speling zal het middengland op zijn weg omhoog worden gestuit door de geleidestrip. Het eerste contact daarmee kan een tik als van een hamer zijn.

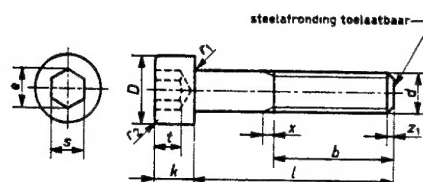
## ***APPENDIX C,***

***De massa van onderdelen en verwijzing naar tekeningen.***

Onderdeel:	Tekening DMKL 996, blad:	Massa (kg):
Middengland	24	55
Koppelstuk	25	35
Stootblok	26	4
Voorgland	27	545
Plunjer	32	535
2 * Zuigerstang 8"-rem		226 (geschat)
Bewegende massa totaal:		1400
Afdichtingen plunjer	21	
Geleidestrip	22	23.5
Achtergland	23	390
Opsluitring (plunjer seals)	31	
Spanbout (M109)	60	4.5
Remcilinder 8"	65	

***APPENDIX D,***  
***Normblad NEN 1241; Cilinderkopschroeven met***  
***binnenzeskant.***

## NEDERLANDS NORMALISATIE-INSTITUUT

steelmiddellijn  $\approx$  buitenmiddellijn schroefdraad

x volgens NEN 1286  
z<sub>1</sub> volgens NEN 1364

Maten in mm

d	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30	M33	M36
b <sup>1)</sup>	9	12	15	18	22	25	28	30	35	40	40	45	50	55	60	65	70
D	5,5	7	9	10	13	16	18	22	24	27	30	33	36	40	45	50	54
e $\approx$	2,9	3,6	4,7	5,9	7	9,4	11,7	14	16,3	16,3	19,8	19,8	22,1	22,1	25,6	27,9	31,4
k	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30	33	36
r <sub>1</sub>	0,1	0,2	0,2	0,3	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
r <sub>2</sub>	0,4	0,4	0,4	0,5	0,8	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3
s	2,5	3	4	5	6	8	10	12	14	14	17	17	19	19	22	24	27
t	1,5	2,5	3	4	5	6	8	9	10	11	12	14	15	17	18	20	22
lengte l	gewicht in kg van 1000 cilinderkopschroeven met binnenzeskant (7,85 kg/dm <sup>3</sup> ) $\approx$																
6	0,754	1,50															
8	0,859	1,65															
10	0,965	1,80	3,23														
12	1,07	1,95	3,48	5,07													
15	1,23	2,22	3,84	5,59	11,8	20,4											
18	1,39	2,50	4,28	6,16	12,4	21,9											
20	1,50	2,71	4,57	6,55	13,4	22,9	32,1										
22	1,60	2,89	4,86	6,98	14,1	23,9	33,6										
25	1,76	3,19	5,30	7,63	15,2	25,4	36,0										
30	2,02	3,68	6,03	8,72	17,1	28,4	39,9	60,2	77,8								
35	2,29	4,16	6,76	9,81	19,0	31,4	44,3	66,0	86,7								
40	2,55	4,65	7,49	10,9	21,0	34,5	48,7	71,9	94,3	129	150						
45	2,97	5,14	8,22	12,0	22,9	37,0	53,0	77,7	102	139	169						
50		5,62	8,95	13,1	24,8	40,5	57,4	83,6	110	149	188	251					
55			9,68	14,2	25,8	43,5	61,8	89,4	118	158	201	266					
60			10,40	15,2	26,8	46,6	66,2	95,3	125	168	213	280	333				
65					29,7	49,6	70,5	101	133	178	225	295	351				
70					32,5	52,6	74,9	107	141	188	237	309	368	441			
75					34,4	55,7	79,3	113	149	198	249	324	386	464			
80					36,4	58,7	83,7	119	157	207	261	338	403	487	692		
90					40,4	64,7	92,4	130	173	227	286	367	439	533	747		
100					42,3	70,8	101	142	189	247	310	397	477	580	802	969	1230
110						76,8	110	154	205	266	334	426	509	626	857	1040	1310
120						82,9	119	166	221	286	359	455	544	673	912	1100	1390
130									237	306	383	484	580	719	967	1170	1470
140									253	326	408	514	615	766	1020	1240	1550
150									269	346	432	543	650	812	1080	1300	1620
160											457	572	686	859	1130	1370	1700
170											481	602	721	905	1190	1440	1780
180											506	631	757	952	1240	1510	1860
190												660	792	998	1300	1570	1940
200												689	828	1040	1350	1640	2020
210												719	864	1090	1410	1710	2100
220												748	900	1140	1460	1770	2180
230												777	936	1180	1520	1840	2260
240												807	972	1230	1570	1910	2340
250												836	1010	1280	1640	1970	2420

Gebruik bij voorkeur de vetgedrukte maten.

<sup>1)</sup> Voor steellengten boven de — lijn loopt de schroefdraad, voor zover dit praktisch mogelijk is, door tot onder de kop.

Aanduiding

voor cilinderkopschroef met binnenzeskant,  
met schroefdraad M6, l = 25 mm, van staal 12K:

cilinderkopschroef M6x25-NEN 1241-12K

Cilinderkopschroeven met binnenzeskant

Metrische schroefdraad

Uitvoering m

NEN 1241

3e druk oktober 1959  
gewijzigd

Auteursrechten voorbehouden

UDC: 621.882.2

# ONGERUBRICEERD

<b>REPORT DOCUMENTATION PAGE</b>				
<b>1. DEFENCE REPORT NUMBER</b> (MOD-NL)  RP 96 - 0113	<b>2. RECIPIENT'S ACCESSION NUMBER</b>  	<b>3. PERFORMING ORGANIZATION</b> <b>REPORT NUMBER</b> 96-CMC-R1439		
<b>4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO.</b>  62376603	<b>5. CONTRACT NUMBER</b>  A96/KM/139	<b>6. REPORT DATE</b>  11 November 1996		
<b>7. NUMBER OF PAGES</b> 31 (incl. appendices & excl. RDP + Distr. List)	<b>8. NUMBER OF REFERENCES</b>  	<b>9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED</b> Final Report		
<b>10. TITLE AND SUBTITLE</b> Technische verbeteringen aan het staartstuk van de DTI Technical improvements at the rear part of the Dynamical Testing System (DTI).				
<b>11. AUTHOR(S)</b> J.M.J. Oostvogels				
<b>12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES)</b>  Centre for Mechanical Engineering Leeghwaterstraat 5 2628 CA DELFT, The Netherlands				
<b>13. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESSES(S)</b> Sponsor: Netherlands Ministry of Defence Monitoring agency: TNO Defence Research, Schoemakerstraat 97, 2628 VK DELFT, The Netherlands				
<b>14. SUPPLEMENTARY NOTES</b>  The Centre for Mechanical Engineering is part of TNO Building and Construction Research Ongerubriceerd is equivalent to Unclassified				
<b>15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS, 1044 BYTES)</b>  Some minor mechanical failures at the rear of the DTI were analyzed. Two different malfunctions were identified. The first one comprises the breaking of too short bolts attaching the aluminiumbronze guide rails at the main construction. The remedy is the introduction of elasticity in this connection. The second problem, causing other bolts to break, is generated by the hammering of the moving part onto the static construction as a result of poor braking performance. This is a serious problem. A preliminary advice with respect to a local redesign was presented.				
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <b>16. DESCRIPTORS</b>             Recoil test            Mechanical connection            End stop         </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <b>IDENTIFIERS</b>             strength            shock absorber            spring         </td> </tr> </table>			<b>16. DESCRIPTORS</b>  Recoil test Mechanical connection End stop	<b>IDENTIFIERS</b>  strength shock absorber spring
<b>16. DESCRIPTORS</b>  Recoil test Mechanical connection End stop	<b>IDENTIFIERS</b>  strength shock absorber spring			
<b>17a. SECURITY CLASSIFICATION</b> (OF REPORT)  ONGERUBRICEERD	<b>17b. SECURITY CLASSIFICATION</b> (OF PAGE)  ONGERUBRICEERD	<b>17c. SECURITY CLASSIFICATION</b> (OF ABSTRACT)  ONGERUBRICEERD		
<b>18. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT</b>  Unlimited availability, requests shall be referred to sponsor		<b>17d. SECURITY CLASSIFICATION</b> (OF TITLES) ONGERUBRICEERD		

ONGERUBRICEERD



**DISTRIBUTIELIJST RAPPORT 96-CMC-R1439**

Instituut: TNO Bouw CMC

Project A96/KL/139

DWOO	1
HWO-Centrale Organisatie	(B)
HWO-KM	(B)
HWO-KL	1
HWO-Klu	(B)
Projectleider DMKL, J. de Blok (MCW)	5
Bureau TNO-DO	1
TNO-Centrum voor Mechanische Constructies	4
Bibliotheek KMA	3

(B) = Beperkt rapport